

Kalkaneusfrakturen

■ Hans Zwipp

Zusammenfassung

In den vergangenen 25 Jahren hat die operative Therapie dislozierter intra-artikulärer Kalkaneusfrakturen mit anatomischer Rekonstruktion und frühfunktioneller Nachbehandlung zu einer deutlichen Verbesserung der Prognose dieser schweren Verletzungen geführt. Neuere Entwicklungen, wie die an der Gefäßanatomie orientierte Zugangsmodifikation [1,11], die arthroskopische Gelenkkontrolle in Verbindung mit offener oder perkutaner Reposition [12,24], die frühe Lapendeckung bei offenen Frakturen oder geschlossenen Frakturen mit Vollhautnekrosen [4,23,40], der Einsatz winkelstabiler Implantate bei zunehmendem Verzicht auf eine autologe Spongiosaplastik [40], die Beachtung spezieller Zugänge und Osteosynthesetechniken bei Luxationsfrakturen des Kalkaneus [41] sowie die Arthrolyse im Rahmen der Implantatentfernung [24,37] haben zu weniger Komplikationen und zu besseren funktionellen Ergebnissen geführt.

Calcaneal Fractures

In the past 25 years the operative treatment of dislocated, intra-articular calcaneal fractures has changed considerably and now includes reconstruction and early functional follow-up. As a consequence the prognosis of these severe injuries has improved significantly. New developments like vascularity-related approaches, arthroscopic joint control in open and percutaneous reduction and fixation, early free flap coverage in severe open or closed fractures, the increasing use of interlocking plates with avoidance of bone grafting, the recent recommendation for special approaches and fixation techniques in fracture dislocations as well as hints for subtalar arthrolysis in combination with hardware removal have not only reduced the postoperative complication rate but have also improved the long-term results significantly.

Epidemiologie, Bio-/Pathomechanik und Pathomorphologie

Das Fersenbein ist nicht nur der größte, sondern auch der am häufigsten gebrochene tarsale Knochen des menschlichen Skeletts. Die Häufigkeit einer Kalkaneusfraktur wird in der Literatur mit 1–2% aller Frakturen angegeben, wobei sie mit etwa 60% der häufigste Bruch der Fußwurzel darstellt [36]. Er betrifft Männer fast 5-mal häufiger als Frauen [36]. Das mittlere Alter der betroffenen Patienten beträgt 42 Jahre, wobei weniger als 5% jünger als 15 oder älter als 65

Jahre alt sind [25]. Die häufigste Unfallursache mit 82% ist der Sturz aus größerer (> 1 m) Höhe [25]. Beidseitige Brüche mit 19,5%, offene Frakturen in 12% sowie geschlossene Fersenbeinbrüche mit akutem Kompartmentsyndrom in 4,9% der Fälle stellen insbesondere beim Mehrfachverletzten (25%) oder im Rahmen eines Komplextraumas (15%) eine besondere Herausforderung dar [25]. Durch seine spongiöse Binnenstruktur und seine vier Gelenkfacetten entstehen bei axialer Gewalteinwirkung, oftmals schon beim Sturz aus weniger als 1 m Höhe am Kalkaneus in 88,2% aller Fälle Frakturen mit Gelenkbeteiligung [25]. Neben der posterioren Facette ist die kuboidale in 45,3%, die mediale/anteriore Facette in 22,5% zusätzlich frakturiert

[25]. 59,8% betreffen zwei oder mehr als zwei Gelenkfacetten, 57,8% aller Frakturen weisen nach der 12-Punkte-Skala [36] einen Schweregrad von ≥ 8 Punkten auf [25]. Die wichtige Funktion des Fersenbeines als Hebelarm mit dorsaler Insertion der Achillessehne und als kräftiger Pfeiler der lateralen Fußsäule wird bei nahezu regelhafter Deformation wie Höhenverlust, Verkürzung und Verbreiterung des Fersenbeines empfindlich gestört. Die unter hoher Belastung stehende posteriore Gelenkfacette, welche für die Beweglichkeit des Rückfußes und damit für die optimierte Anpassung des Fußes an den Untergrund im Sinne der Eversion/Inversion entscheidend ist, wird selbst bei geringsten Verwerfungen (1–2 mm) dauerhaft durch eine rasch einsetzende, schmerzhafte Subtalararthrose geschädigt [24,25].

Je nach Ausmaß der Deformität resultieren neben dem posttraumatischen Pes planovalgus, eine Irritation der Peronealsehnen oder das Anstoßen der dislozierten Fersenbeinwand gegen die Außenknöchelspitze, im Angloamerikanischen bekannt als „abutment“ [26,36,37]. Durch die nahezu regelmäßige Dislokation des Tuberfragments nach kranial mit Minderung des sog. Böhler-Winkels wird dynamischerseits der Hebelarm des Triceps surae enorm geschwächt. Durch die häufige konsekutive Rückwärtskipung des Talus mit permanenter Einstellung der vorderen, breiteren Trochlea tali in der Sprunggelenksgabel ist nicht nur ein frühes, schmerzhaftes tibio-talares Impingement gegeben, sondern wird eine Präarthrose des oberen Sprunggelenkes induziert. Nicht zuletzt werden nicht selten zusätzlich die Riegelfunktion der Plantaraponeurose und das einzigartige subkalkaneare Fersenpolster geschädigt. Aus dieser Vielzahl der Pathomorphologien ergeben sich die unbedingte Forderung nach exakter Verletzungsanalyse und Indikationsstellung zur anatomischen Reposition der Gelen-

ke, Form und Achsen, um schwere Folgeschäden zu vermeiden. Dabei lässt sich in den meisten Fällen die Wiederherstellung der äußeren Form und die subtile Rekonstruktion aller Gelenkflächen nur mit einer offenen Reposition und übungsstabiler, nicht gelenkübergreifender Plattenosteosynthese erreichen. Die prekäre Weichteilbedeckung des Fersenbeines macht eine sorgsame Präparation und exakte Planung des Operationszeitpunktes obligat.

Frakturklassifikation

Moderne Frakturklassifikationen sind ausschließlich CT-basiert, da nur so eine genaue Analyse der Frakturmorphologie und somit eine präzise Planung des operativen Vorgehens möglich wird. Während sich die klassische Fraktüreinteilung von Essex-Lopresti in „joint depression“ und „tongue-type“ aus den in den Standardaufnahmen charakteristischen primären Frakturlinien im Gissane'schen Winkel und sekundären Frakturlinien im Tuber calcanei ableiten [9], berücksichtigt die anhand von über 200 computertomografischen Kalkaneus-Frakturanalysen und experimentellen Kadaver-Frakturbeschreibungen entwickelte CT-Klassifikation von Zwipp et al. [35,36] den Verlauf der tertiären Frakturlinien im proximalen Corpus calcanei, im distalen Kalkaneus, dem sog. Processus anterior calcanei bzw. den Facetten. Dadurch lassen sich nahezu regelhaft bis zu 5 Hauptfragmente nachweisen, wobei die 3 Gelenkfacetten (mediale und anteriore Facette werden, da in 80% fusioniert, als Einheit betrachtet) mit zunehmender Fragmentzahl analog häufiger betroffen sind. Durch die X-Fragment-/Y-Gelenk-Klassifikation mit max. 8 Basispunkten kann es durch die additiv einbezogene Graduierung des Weichteilschadens bei I–III° offenen bzw. geschlossenen Frakturen (1–3 Punkte) sowie durch eine Zusatzfraktur benachbarter Knochen oder Trümmerfraktur eines der Hauptfragmente (ultimativer Zusatzpunkt) zu einer Summation von maximal 12 Punkten kommen. Diese Frakturskala hat einen prognostisch prädiktiven Wert von 86% [36].

Die im amerikanischen Raum bevorzugt verwendete Klassifikation von Sanders [26] basiert auf der für das therapeutische Vorgehen und funktionelle Ergebnis entscheidenden Anzahl der Frakturlinien im koronaren CT-Schnitt auf Höhe

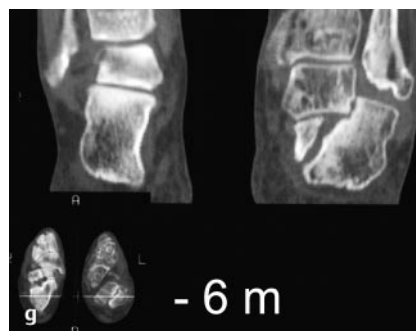


Abb. 1 a bis g Übersehene 2-Teile-Luxationsfraktur, die initial wenig disloziert sein kann (a, b), aber immer als äußerst instabile Fraktur betrachtet werden muss (c, d). Luxation des Kalkaneuskörpers mit der posterioren Facette bis unter den Außenknöchel. Das CT mit der semikoronaren Schicht (e), der axialen Schicht (f) sowie der koronaren Ebene (g) zeigt die extrem fehlverheilte, da als solche nicht erkannte 2-Teile-Fraktur des Fersenbeines.

der posterioren Facette. Alle nicht dislozierten Frakturen werden unabhängig von der Anzahl der Frakturlinien Typ I zugeordnet. Typ II weist eine, Typ III zwei, Typ IV drei und mehr Frakturlinien (Trümmerfraktur) in der posterioren Facette auf.

Die neue AO/ICI-Frakturklassifikation, welche von der AO/ASIF Foot and Ankle Expert Group erarbeitet wurde, erlaubt neben den extraartikulären Frakturen (Typ A) und intraartikulären Frakturen (Typ B) erstmals die Klassifikation der Luxationsfrakturen (Typ C).

Die Nummerierung jedes einzelnen der 28 Fußknochen sowie die Belegung der einzelnen Gelenkfacetten mit kleinen lateinischen Lettern dient der exakten Beschreibung der Lokalisation, wobei in

den Subgruppen betroffenes Gewebe, Frakturform und Dislokationsgrad deskriptiv ausgewiesen werden [39].

Diagnostik

Die **klinische Diagnose** spielt trotz der zur Verfügung stehenden technischen Ressourcen nach wie vor eine entscheidende Rolle. Sie weist nicht nur den Weg zu den erforderlichen bildgebenden Verfahren, sondern ermöglicht die für das weitere Vorgehen und die Prognose wichtige Graduierung des primären Weichteilschadens. Bei erheblicher Schwellung muss immer ein akutes Kompartmentsyndrom, gegebenenfalls mit Druckmessung, ausgeschlossen werden.

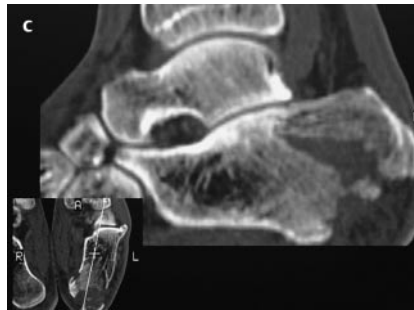


Abb. 2a bis c Schwere Komplikation bei extraartikulärer Fraktur. Weichteilnekrose mit sekundär infizierter Achillessehne (**a, b**) bei 10 Tage alter, nicht notfallmäßig reponierter Entenschnabelfraktur (**c**).

2-Teile-Frakturen ohne ersichtliche Dislokation oder Weichteilschäden werden auch heute noch (**Abb. 1**) gelegentlich als „Sprunggelenksdistorsion“ fehldiagnostiziert. Insbesondere bei polytraumatisierten Patienten werden Frakturen des Fersenbeins, besonders isolierte Frakturen des Sustentaculum tali, leicht übersehen [38].

Die **radiologische Diagnostik** wird durch konventionelle Röntgenaufnahmen in 4 Standardebenen (oberes Sprunggelenk a.-p., Kalkaneus lateral, axial und Fuß dorsoplantar) gesichert. Ergänzend kann zum Ausschluss einer posterioren Facettenfraktur eine 20°-Brodén-Aufnahme durchgeführt werden, sofern nicht ohnehin ein CT notwendig wird. Bei klarer OP-Indikation sollte präoperativ zum Vergleich eine seitliche Aufnahme des kontralateralen Fußes angefertigt werden, da der Böhler-Winkel, und somit das anzustrebende Repositionsergebnis, einer erheblichen interindividuellen Schwankung unterliegt. Unabdingbare Voraussetzung für die Frakturklassifikation und präoperative Planung ist die Durchführung eines CT mit axialer und koronarer Schnittführung gelegentlich mit 3D-Darstellung, während das MRT keine therapie relevanten Zusatzinformationen erbringt und daher nicht routinemäßig empfohlen wird.

Indikation

Operativ

1. Intraartikuläre Fersenbeinfrakturen mit > 1-mm-Gelenkstufe der posterioren, medialen oder kuboidalen Facette
2. Extraartikuläre Frakturen mit relevanter Rückfußfehlstellung (Varus > 5°, Valgus > 10°)
3. Isolierte Sustentakulumfrakturen (auch indisloziert)
4. > 10 mm dislozierte Processus-medialis-Brüche des Tubers calcanei
5. Dislozierte Entenschnabelbrüche.

Letztere können bei innerem Druck auf die Weichteile, besonders die Achillessehne (**Abb. 2**), **Notfallindikationen** darstellen, ebenso wie die offene Fraktur und die geschlossene Fraktur mit begleitendem Kompartmentsyndrom.

Konservativ

Bei Kontraindikationen zum operativen Vorgehen wie lokal superinfizierter Weichteile, allgemein (arterielle Verschlusskrankheit, schlecht eingestellter Diabetes mellitus, systemische Immunsuppression, fehlende Compliance) wird die konservativ-funktionelle Behandlung empfohlen.

D. h. initial Hochlagern, Kühlen, Lymphdrainagen, Krankengymnastik mit Ent-

lastung im Tibiakopffentlastungsstiefel, Allgöwer-Apparat oder mit zwei Unterarmgehstützen (20 kp) für 8–12 Wochen je nach Frakturtyp.

Überprüfung einer notwendigen Indikation zur reorientierenden subtalaren Arthrodeese nach 12 Monaten.

Therapie

Die größten Probleme bestehen auch heute noch bei offenen Frakturen, bei Brüchen im Rahmen eines Polytraumas oder bei assoziiertem Kompartmentsyndrom, weshalb diese Besonderheiten vorangestellt werden.

Management offener Kalkaneusfrakturen

Die prekäre Weichteildeckung des Rückfußes mit einer dünnen, vulnerablen Haut über dem lateralen und medialen Aspekt des Fersenbeines und einer durch gleichwertiges Gewebe praktisch unersetzbaren kompliziert gekammerten Planta pedis, macht die offenen Kalkaneusfrakturen zu einer der größten Problemfrakturen in der Unfallchirurgie. In der Literatur werden Infektraten von bis zu 60% und Amputationsraten bis 14% beschrieben [29]. Im eigenen Krankengut liegt die postoperative Komplikationsrate bei offenen Frakturen um das fünf- bis siebenfache höher als bei denjenigen mit geschlossenen Frakturen [23]. Dem initialen Management offener



Abb. 3 a bis e Drittgradig offene Kalkaneus-Luxationsfraktur mit Frühinfekt zum Zeitpunkt der Übernahme. **a** Das auswärtige Unfallbild zeigt die erhebliche Zerstörung der medialen Muskulatur nach Sturz aus 3 m Höhe. **b** Schwere Luxationsfraktur des Kalkaneus mit Kippung des Talus aus der Sprunggelenksgabel. **c** Nach Débridement und Reosteosynthese mittels Spickdrähten und temporärer tibio-tarsaler Transfixation ist die Grundlage für einen frühen freien Latissimusdorsi-Transfer gegeben. **d, e** Die 5-Jahres-Kontrolle zeigt das passable Ausheilungsergebnis, wobei noch nicht einmal zwischenzeitlich eine subtalare Arthrodesse notwendig wurde, lediglich Zehenkorrekturen nach Kompartmentsyndrom.

Kalkaneusfrakturen kommt somit eine erhebliche prognostische Bedeutung zu.

Die **Notfallversorgung** besteht in einem initialen Wunddébridement, einer Grob-reposition mit temporärer minimalinvasiver Retention mittels perkutan eingebrachter Kirschner-Drähte (**Abb. 3**) oder einer medialen Fixateur-Transfixation (mit je einer Schanz-Schraube in distaler Tibia, Tuber calcanei, Cuneiforme I oder Metatarsale I) sowie der temporären Kunsthaut- oder Vacusealdeckung. Eine Second-look-Operation muss regelhaft innerhalb von 48–72 Stunden erfolgen. Zu diesem Zeitpunkt sollte idealerweise bereits die definitive Osteosynthese und Weichteildeckung durchgeführt werden.

Notfallmaßnahmen beim Polytrauma

Bei geschlossenen Frakturen mit erheblichem Fragmentdruck auf die Weichteile kann beim Polytrauma notfallmäßig eine geschlossene Reposition versucht werden, was jedoch nur selten gelingt. Meist ist eine perkutane Reposition mit

einer in das Tuber calcanei eingebrachten Schanz-Schraube erforderlich. Die Hauptfragmente werden gegebenenfalls minimalinvasiv mit Kirschner-Drähten fixiert, ein großes Hämatom über Stichinzisionen abgesaugt und mit einem retrograd eingelegtem Redondrain effektiv entlastet. Das Repositionsergebnis wird durch einen medialen Dreipunkt-Fixateur gesichert, um nach Erholung des Patienten und der Weichteile die definitive Versorgung, wie unten geschildert, durchzuführen [24].

Kalkaneusfraktur mit akutem Kompartmentsyndrom

Bei III°-ig geschlossenen Frakturen mit manifestem Kompartmentsyndrom erfolgt beim Polytrauma die perkutane Hämatomabsaugung mit retrograder Draineinlage oder bei unzureichender Entlastung hierdurch die notfallmäßige Dermatofasziotomie über einen ausgedehnten dorso-medialen Zugang kombiniert mit Anlage eines medialen Fixateurs (**Abb. 4**).

Beim Monotrauma hat sich nach notfallmäßiger CT-Analyse die sofortige operative Versorgung mit Ausräumung des Hämatomes und definitiver Plattenosteosynthese sehr bewährt [37].

Perkutane, arthroskopisch und Bildwandler-gestützte Osteosynthese

Die prekäre Weichteildeckung des Kalkaneus sowie die beobachteten Wundheilungsstörungen nach offener Reposition haben die perkutanen Osteosyntheseverfahren in den letzten Jahren wieder vermehrt in den Mittelpunkt des Interesses gerückt. Die heute praktizierten semioperativen Methoden gehen allerdings im Wesentlichen auf die von Westhues 1934 entwickelte Aufrichtung des Tuber calcanei mit einer perkutan eingebrachten Schanz-Schraube zurück. Die Fixation, von Westhues [35] und später von Essex-Lopresti [9] im Gips durchgeführt, erfolgt heute mit perkutan eingebrachten Kirschner-Drähten, besser Schrauben bzw. einem Fixateursystem, wie z.B. dem medialen Dreipunkt-Distraktor. In neuerer Zeit wer-

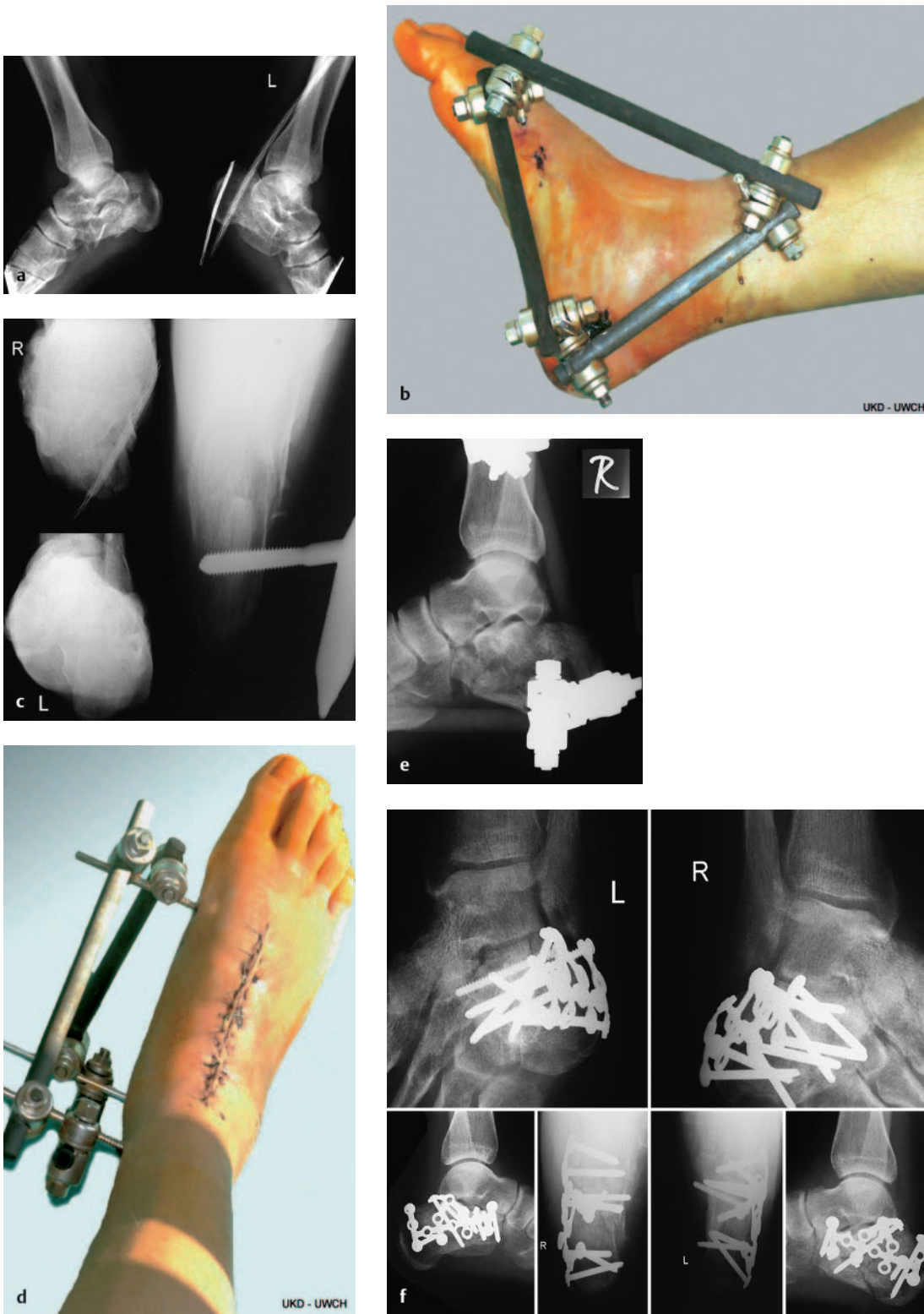


Abb. 4a bis f Drittgradig geschlossene Kalkaneus-Luxationsfraktur beidseits (a) mit akutem Kompartmentsyndrom beim Polytrauma. Notfallversorgung mit medialem Fixateur (b–e), der eine Grobreposition ermöglicht. Sekundärer Wundverschluss nach dorso-medianer Dermatomfasziotomie 10 Tage später (d). Durch Ligamentotaxis lässt sich die Luxationsfraktur durch die trianguläre Verspannung beseitigen und konditioniert die Haut für die spätere offene Versorgung (e). Definitive interne Osteosynthese mit winkelstabiler Kalkaneusplatte beidseits knapp drei Wochen nach Polytrauma (f).

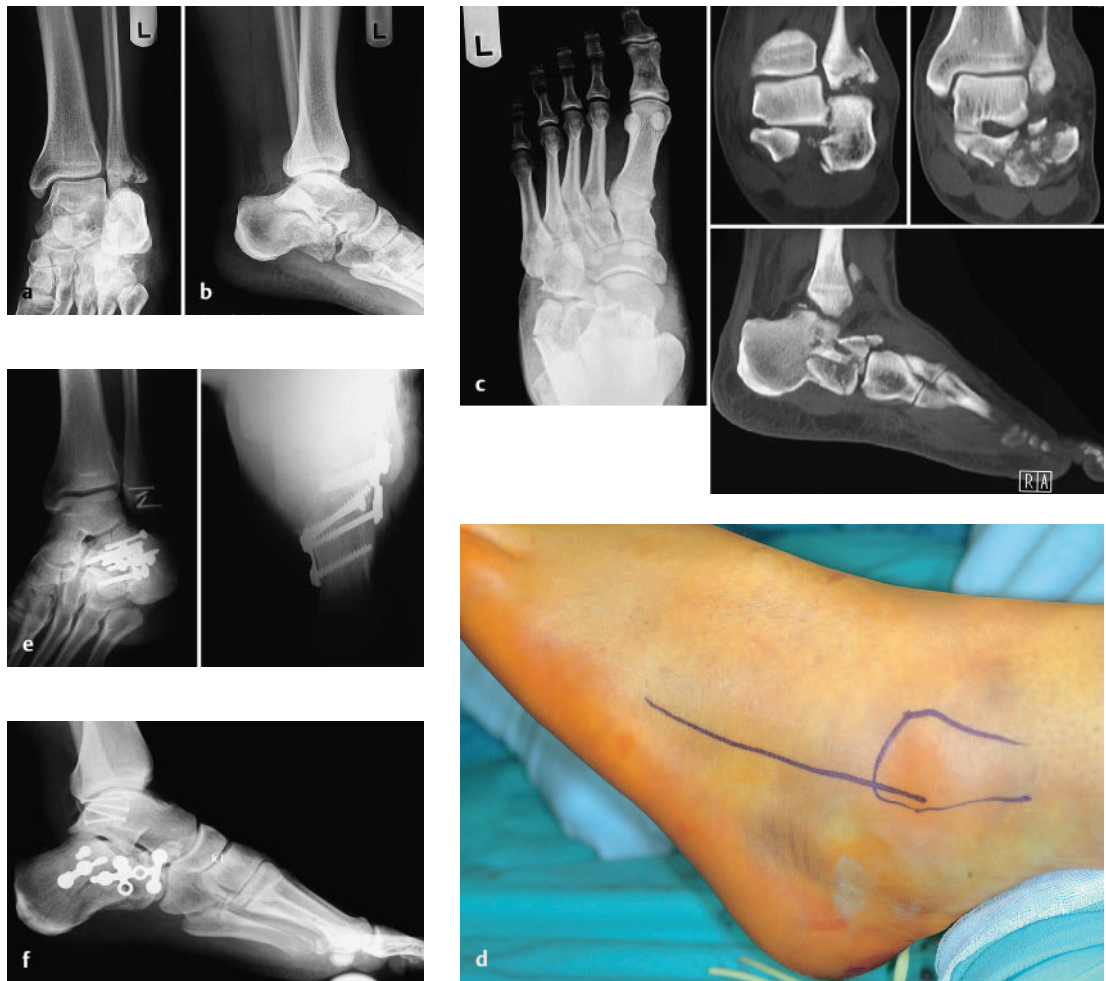


Abb. 5 a bis f

den zur Weichteilschonung perkutane Osteosyntheseverfahren unter Bildwandlerkontrolle auch bei speziellen Frakturtypen mit einer Frakturlinie im Subtalargelenk (Sanders II) mit guten Resultaten durchgeführt [33]. Einige Autoren favorisieren die perkutane Osteosynthese auch bei intraartikulären Frakturen [10], was mit dem Risiko einer unvollständigen Reposition der posterioren Gelenkfacette verbunden sein kann. Dies erscheint weniger gegeben bei intraoperativer dreidimensionaler Darstellung mit dem Siremobile, ISO 3D [34].

Der Einsatz der subtalaren Arthroskopie gestattet in ausgewählten Fällen (einfache Frakturformen mit relevanter Gelenkverwerfung) die perkutane Reposition und Schraubenosteosynthese ohne das Risiko, mit dieser Methode kleinere Gelenkverwerfungen in Kauf nehmen zu müssen [12]. Zur Arthroskopie werden die klassischen anterolateralen und

posterolateralen Portale nach Parisien und Vangness benutzt [22]. Nach dem Westhues-Repositionsmanöver können unter arthroskopischer Sicht Feinkorrekturen mit perkutan eingebrachten Stößeln oder Kirschner-Drähten unter zusätzlicher Bildwandlerkontrolle erfolgen. Die Retention der Fragmente wird mit 3–6 Kortikalisschrauben, welche ebenfalls über Stichinzisionen und Bildwandlerkontrolle eingebracht werden, erreicht. Eine postoperative Gipsprotektion ist nicht erforderlich. Bei bislang 18 mit dieser Methode versorgten und kontrollierten Patienten wurden keinerlei Wundkomplikationen, eine erheblich verkürzte stationäre Behandlungsdauer von 5,2 Tagen und sehr gute 1-Jahres-Ergebnisse (AOFAS-Punktzahl i. M. 94,1) in allen Fällen gesehen [24]. Erweist sich die perkutane, anatomische Reposition als unmöglich (z. B. bei tiefer Impression des gelenktragenden Fragmentes), so kann auf ein klassisches offenes Vorgehen konvertiert werden.

Präoperative Maßnahmen zum offenen Vorgehen

Aufgrund der zumeist erheblichen Weichteilschwellung liegt der Operationszeitpunkt bei I°- und II°-ig geschlossenen Frakturen im Allgemeinen zwischen dem 6. und 10. Tag nach dem Trauma.

In der Zwischenzeit wird der betroffene Fuß durch lokale und systemische Maßnahmen (Hochlagerung, Eisapplikation bzw. cryo-cuff®, aktive Venenpumpe, Lymphdrainage, Antiphlogistika, enzymatische Präparate) zum Abschwellen gebracht.

Da eine verzögerte Versorgung nach mehr als 14 Tagen nach dem Unfallereignis, insbesondere bei kollabiertem Böhler-Winkel, zu einer potenziell erhöhten Gefahr der postoperativen Wundrandnekrose und/oder Infektion führt, sollte möglichst nach dem 14. Tag nicht mehr

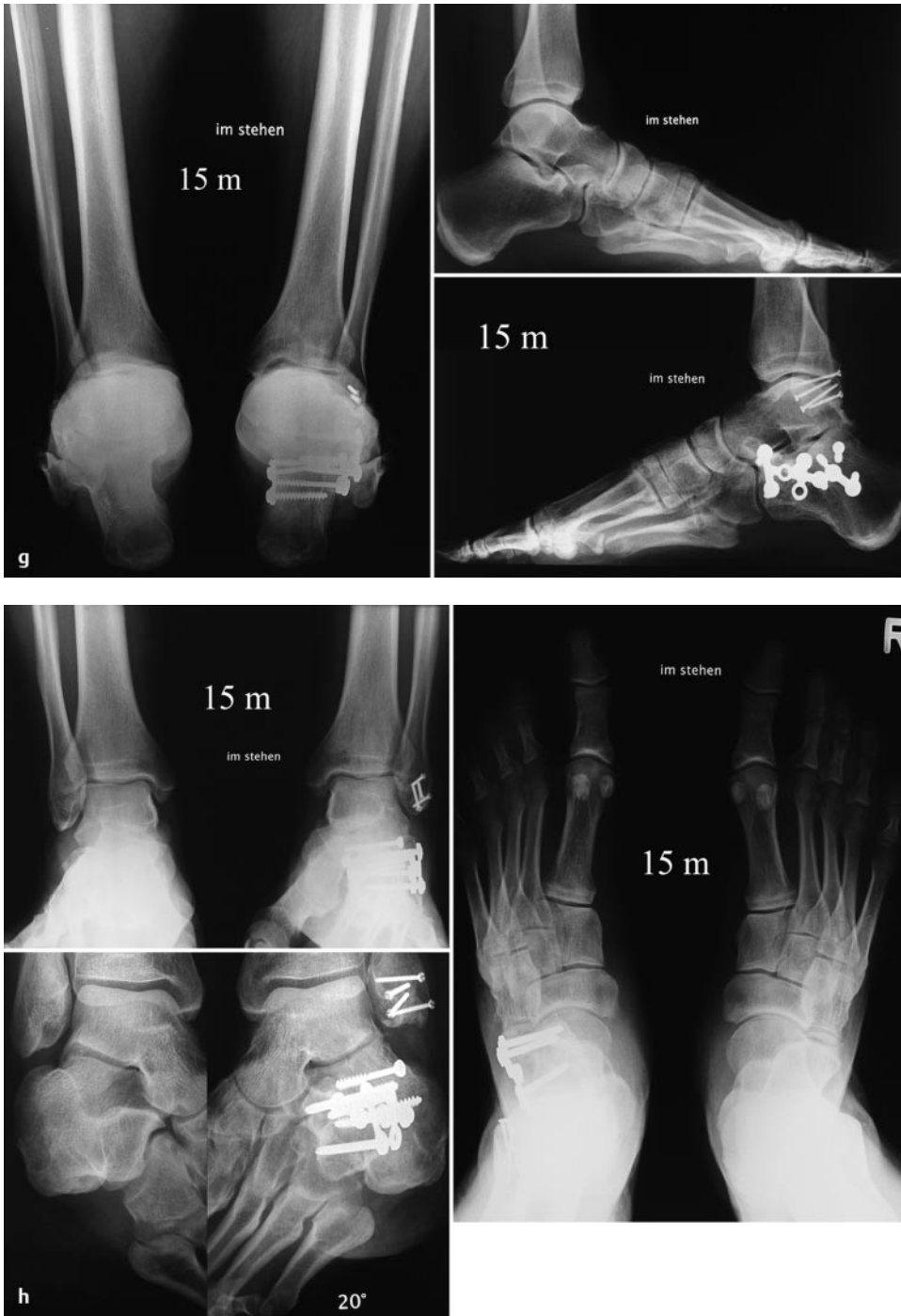


Abb. 5a bis h Erheblich dislozierte C2-Luxationsfraktur des Kalkaneus mit zweitgradig geschlossenem Weichteilschaden bei einem 28-jährigen Bierbrauer nach Treppensturz. **a** Die a.-p. Aufnahme zeigt den kompletten Versatz des Fersenbeines nach lateral unter den Außenknöchel mit Zertrümmerung desselben. Die seitliche Projektion (**b**) zeigt die nach kranial verrenkte Stellung des Kalkaneus in Bezug zum Talus und die schwere intraartikuläre Destruktion vor allem zum Kuboid hin. **c** Die dorso-plantare Röntgenaufnahme sowie die weiterführenden CT-Schichten zeigen die schwere Zertrümmerung des gesamten Processus anterior mit erheblicher Verwerfung des Gelenkes. Versatz des Tubers mit der posterioren Facette um über halbe Talusbreite nach lateral bis unter den Außenknöchel mit Zerstörung desselben in seinem distalen Anteil. Zusätzlicher Frakturverlauf bis nahe zur medialen Gelenkfacette hin. **d** Epimalleolärer modifizierter Palmer-Zugang ermöglicht den Zugang zum Außenknöchel der luxierten Peronealsehnen. **e** Anatomische Rekonstruktion des Subtalar-Gelenkes in der intraoperativen Brodén-Projektion mit Rekonstruktion des Außenknöchels mittels Minischrauben. Die axiale Aufnahme zeigt das 2-Loch-winkelstabile Plättchen auf der Medialseite im Sinne des Antigleitprinzips. **f** Die seitliche Fersenbeinaufnahme und die OSG a.-p. Aufnahme zeigen den lateral platzierten 6-Loch-Anteil der winkelstabilen Kalkaneusplatte mit anatomischer Rekonstruktion des Subtalar- und Kalkaneo-Kuboid-Gelenkes sowie des Außenknöchelbereiches. **g,h** Die 18-Monats-Kontrolle zeigt die anatomische Verheilung bei voller Arbeitsfähigkeit des Patienten nach 3 Monaten.

offen vorgegangen werden, falls nicht initial mit einem medialen Fixateur reponiert wurde [25,37].

Zugangswahl für die offene Rekonstruktion

Die sehr häufigen B2-Frakturen des Fersenbeines (59%), d.h. mit Fraktur der posterioren und kuboidalen Gelenkfacette, werden bevorzugt (95%) über den ausgedehnt lateralen Zugang, sog. „Seattle approach“ versorgt.

Dieser Zugang, mehr oder weniger wie ein fasziokutaner Lappen angelegt, berücksichtigt die Blutversorgung des Rückfußes und gewährt eine ausreichende Übersicht vom subtalaren Gelenkspalt bis zum Kalkaneokuboid-Gelenk.

Der Eingriff erfolgt in Seitenlage. Der Hautschnitt liegt bumerangförmig zwischen Außenknöchel und Achillessehne bzw. lateralem Fußsohlenrand. Neuere anatomische Studien zur Blutversorgung des lateralen kalkanearen Hautlappens haben gezeigt, dass die ideale Schnittlinie nicht exakt auf halber Strecke, sondern mehr in Richtung Achillessehne und Fußsohle verlaufen sollte (im eigenen Vorgehen auf ca. $\frac{2}{3}$ der Strecke). Dies entspricht dem Versorgungsgebiet der A. calcanea lateralis und dient der Schonung des N. suralis und der V. saphena parva [1,11]. Tendenziell konnte durch leichte Verlagerung der Inzision des erweiterten-lateralen Zuganges näher zur Achillessehne bzw. zum lateralen Fußsohlenrand hin im Verlauf der Studie eine Verringerung der Inzidenz von Wundrandnekrosen von 8,7% in einer früheren Serie auf nunmehr 6,7% erreicht werden [38]. Zur Prophylaxe von Wundhämatomen wird im eigenen Vorgehen vor dem Hautverschluss ein Hämostyptikum (z.B. Kollagenvlies) auf den stark blutenden spongiösen Knochen aufgebracht.

Ein **bilaterales Vorgehen** mit notwendiger Rückenlage des Patienten ist in den seltensten Fällen (1,5%) zur Reposition von Kalkaneusfrakturen erforderlich und nach Stephenson [30] mit einer erhöhten Rate an Wundrandnekrosen verbunden. Liegt jedoch eine Fraktur des Sustentaculum tali mit Beteiligung der medialen Gelenkfacette vor, welche sich erfahrungsgemäß nicht von lateral rekonstruieren lässt, so ist zusätzlich zum ausgedehnt lateralen Zugang ein media-

ler Zugang erforderlich. Anstelle des klassischen McReynolds-Zuganges, welcher mit der Gefahr einer Verletzung des tibialen Gefäß-Nerven-Bündels einhergeht, wird im eigenen Vorgehen ein kleiner **Sustentaculum-Zugang** als quer-verlaufende Inzision direkt über dem tastbaren Sustentaculum tali bevorzugt [36]. In einem ersten Operationsschritt wird unter wechselweisem Beiseitehalten der angeschlungenen Sehnen des M. tibialis posterior, M. flexor digitorum longus und M. flexor hallucis longus zunächst die mediale Gelenkfacette mit Mini- oder 2,7/3,5er-Kortikalisschrauben retiniert, um anschließend mit dem Gelenkaufbau und der weiteren Versorgung von lateral fortzufahren. In diesen Fällen ist die Lagerung des Patienten in Rückenlage mit Keilanhebung der betroffenen Seite und beiderseitigen Stützen empfehlenswert.

Dieser Zugang ist ebenfalls für die isolierten Sustentaculum-Frakturen indiziert, wobei in diesen Fällen durch ein Zielgerät (Percutaneous Forceps der AO/ASIF Foot & Ankle Expert Group) zur Schraubenplatzierung der Zugang weiter minimiert werden kann. Bei den seltenen Luxationsfrakturen (Abb. 5) kann ebenfalls ein bilaterales Zugehen mittels **modifiziertem Palmer-Zugang** kombiniert mit einem modifizierten McReynolds-approach empfohlen werden.

Offene, arthroskopische Kontrolle der reponierten posterioren Facette

Nach erfolgter Reposition und temporärer Retention der gelenktragenden Fragmente mit Kirschner-Drähten oder bei bereits eingebrachter Kalkaneusplatte wird im eigenen Vorgehen beim leisesten Verdacht auf eine verbliebene Stufe die Kongruenz der visuell schlecht einsehbaren posterioren Facette mittels offener Arthroskopie des subtalaren Gelenkes kontrolliert [24]. Dazu wird ein Arthroskop (2,7 mm Durchmesser/30° Winkeloptyk) unter Varusstress des Fersenbeines über die liegende Schanz-Spongiosaschraube mit Handgriff in den freiliegenden subtalaren Gelenkspalt eingeführt. Hierzu werden wiederum näherungsweise die klassischen Portale bzw. Einstellungen [22] für die subtalare Arthroskopie verwendet. Unter arthroskopischer Sicht können jetzt Feinkorrekturen und Nachrepositionen bei verbliebenen Inkongruenzen in der posterioren Gelenkfacette erfolgen, wel-

che der intraoperativen Durchleuchtung oder konventionellen Röntgendiagnostik leicht verborgen bleiben können.

Der **Vorteil der intraoperativen, offenen Arthroskopie** wurde bereits früher [24] beschrieben: Bei 59 offenen arthroskopischen Kontrollen nach offener Reposition und temporärer Kirschner-Draht-Transfixation frischer intraartikulärer Kalkaneusfrakturen war in immerhin 13 Fällen (22,0%) eine Nachreposition aufgrund einer verbliebenen Gelenkstufe von 1–2 mm in der posterioren Facette erforderlich.

Implantatwahl und Defektauffüllung

Die Retention erfolgt mehrheitlich mit einer der Anatomie des Kalkaneus angepassten AO-Platte nach Sanders. Es sind jedoch verschiedene, meist Y-förmige Platten im Gebrauch. Die Plattenfixation an der lateralen Fersenbeinwand wird in der Regel mit sechs 3,5-mm-Kortikalisschrauben erreicht, wobei in der Regel meist insgesamt 6 Schrauben zusammen mit dem Plättchen ausreichen. Aufgrund der festeren Spongiosa werden 2 Schrauben unterhalb der subtalaren Gelenkfläche in Richtung auf das Sustentaculum tali, 2 gelenknah im Processus anterior und 2 in das periphere Tuber calcanei platziert. Seit 2001 steht ein anatomisch angepasstes und winkelstabiles Implantat der AO/ASIF Foot & Ankle Expert Group in der Stahlversion, neuerdings auch in der Titan-Molybdän-15%-Version, zur Verfügung. Während bei Verwendung der Sanders-Platte in 350 eigenen Fällen in immerhin 53% der Fälle eine additive autogene Spongiosaplastik durchgeführt wurde, beträgt die Rate beim Einsatz winkelstabiler Platten (n=53) nur noch 3,8%. Dies entspricht einer drastischen Reduktion.

Ähnlich wie Autoren der französischen Literatur [3,8,16] fanden Longino und Buckley in einer jüngst publizierten prospektiven Studie [18] keine Vorteile der Knochentransplantation in einem vergleichbaren Patientengut.

Cave: Knochenersatzstoffe

Der Einsatz von Knochenersatzstoffen anstelle von autologer Spongiosa ist nicht als etabliert anzusehen.

Die Implantation von Korallenmatrix (Hydroxylapatit-Gerüst) führte in 3 von 8 Fällen zu einer Fistelbildung, weswe-

gen die Autoren von diesem Vorgehen abrückten [8]. Mit Norian SRS wurde in biomechanischen Versuchen zwar eine erhöhte Primärstabilität nachgewiesen [32], jedoch wurden in einer kleineren klinischen Serie 11% Infekte gesehen [28], was den breiten Einsatz kritisch bewerten lässt. Eine eigene, vorgesehene Studie mit α -BSM wurde bereits nach dem ersten Fall abgebrochen, da sich postoperativ eine aseptische Fistel ausbildete.

Der Einsatz der winkelstabilen Kalkaneusplatte erübrigt nach bisher eigener Erfahrung eine Auffüllung auch bei größeren Defektzonen und erlaubt eine um durchschnittlich 3 Wochen frühere Vollbelastung gegenüber vergleichbaren, mit Sanders-Platte versorgten Frakturen.

Nachbehandlung

Aufgrund der hohen Fibrosierungstendenz des Subtalargelenkes ist eine intensive physiotherapeutische Nachbehandlung von eminenter Bedeutung für das funktionelle Spätergebnis. Die Nachbehandlung erfolgt frühfunktionell aus dem Unterschenkelgipsverband heraus, den der Patient nur zur Wundheilungsphase 8–10 Tage benötigt. Zum Leerpumpen des venösen Fußsohlenplexus wird der Patient zum regelmäßigen Drücken gegen die Gipssohle angehalten.

Ab dem 2. postoperativen Tag beginnt der Patient mit der CPM (Continuous Passive Motion) des Fußes im Sinne der Dorsal-/Plantarflexion und Pronation/Supination auf der Motorschiene sowie aktiven Kreiselbewegungen des Fußes unter gezielter Unterstützung durch die Physiotherapeutin.

Die Mobilisation erfolgt ab dem 5.–8. postoperativen Tag unter Teilbelastung von 15 kp im patienteneigenen Schuh. Auf Vollbelastung kann abhängig von Bruchform, Knochenqualität und Ausmaß einer eventuell notwendigen Spongiosaimplantation bzw. neuerdings einer winkelstabilen Plättchenversorgung nach 6–12 Wochen übergegangen werden. Schwerstarbeit und Sport sind in der Regel nach 4–6 Monaten möglich. Ein spezieller Tibiakopf-Entlastungsstiefel erlaubt die frühe Mobilisation bei bilateralen Kalkaneusfrakturen unter deutlich erhöhter Gangsicherheit gegenüber dem bisher verwendeten Allgöwer-Apparat.

Implantatentfernung und subtalare Arthrolyse

Die lateralseitige Implantatentfernung wird im eigenen Vorgehen nach einem Jahr empfohlen, ist jedoch nicht obligat. Bei deutlicher Rückfußesteifung sollte diese aufgrund der nach eigener Erfahrung in ca. 20% der Fälle beobachteten relevanten fibrösen Verwachsungen mit Rückfußesteifung immer mit einer lateralseitigen Arthrolyse und Arthroskopie des subtalaren Gelenkes verbunden werden [24,25].

Die offene subtalare Arthroskopie im Rahmen der Implantatentfernung bietet bei den beobachteten Bewegungseinschränkungen im unteren Sprunggelenk neben der Abtragung extraartikulärer Fibrosierungen die Möglichkeit des intraartikulären Débridements, der Entfernung freier Gelenkkörper und Knorpelglättung. Die Graduierung des Knorpelschadens erlaubt zudem eine gesicherte prognostische Aussage [24].

Ergebnisse

In größeren Serien (über 100 nachuntersuchte Patienten) wurden nach offener Reposition und Plattenosteosynthese in 60 bis 85% gute und ausgezeichnete Resultate beschrieben [3,16,25,26,35], wengleich verschiedene Scoresysteme zur Anwendung kamen, was den direkten Vergleich erschwert. Erwartungsgemäß findet sich bei allen Autoren eine negative Korrelation der Ergebnisse mit steigendem Schweregrad der Fraktur und ungenügender Reposition. Mehrere Autoren haben beobachtet, dass ein schlechteres Resultat, insbesondere mit Inkongruenzen im subtalaren Gelenk, weniger mit der Aufrichtung des Böhler-Winkels in den konventionellen Aufnahmen einhergeht. Letzterer hat nur bei deutlichem Korrekturverlust einen negativen Einfluss auf das Behandlungsergebnis [21,25,37].

Im eigenen Patientengut wurde ein gutes funktionelles Ergebnis gesehen, wenn der postoperative Böhler-Winkel mehr als 70% der unverletzten Gegenseite betrug, während bereits kleinste Gelenkstufen von 1–2 mm in der posterioren Gelenkfacette (mittels CT oder Arthroskopie nachgewiesen) zu einer signifikanten Verschlechterung der funktionellen Ergebnisse führten [25].

Diskussion

Wenige Studien vergleichen operatives und konservatives Vorgehen bei intraartikulären Kalkaneusfrakturen. Die erste prospektiv randomisierte Untersuchung von Thordarson und Krieger [31] mit 17 Patienten je Studienarm ergab eine eindeutige Überlegenheit der lateralen Plattenosteosynthese, durchgeführt von nur einem Operateur. Drei weitere retrospektiv vergleichende Studien [7, 17,20] fanden ebenfalls signifikant bessere Resultate nach Osteosynthese, während zwei Arbeitsgruppen [5,15] keine signifikanten Unterschiede feststellten. Letztgenannte Studien ergaben jedoch signifikant bessere Ergebnisse in der Subgruppe operativ versorgter Patienten, bei denen die Fraktur anatomiegerecht reponiert worden war.

Eine in Kanada durchgeführte prospektiv randomisierte Multizenterstudie mit über 200 Patienten pro Studienarm wurde erst kürzlich publiziert [6]. Insgesamt fand sich für die Lebensqualität (SF-36) nur eine leichte Überlegenheit der Operation, welche keine signifikanten Unterschiede für das Gesamtkollektiv ergab. Nach operativer Therapie wurden allerdings signifikant weniger sekundäre subtalare Arthrodesen erforderlich. Aus dem großen Krankengut wurden zudem Gruppen identifiziert, welche eindeutig von einer Osteosynthese profitieren. Darunter zählen Frauen sowie Männer unter 50 Jahren, weiterhin Patienten mit einer geringen Arbeitsbelastung und einem großen individuellen Böhler-Winkel. Kritisch wurde die Prognose bei Schwer- und Schwerstarbeit sowie generell bei Arbeitsunfällen gesehen, wengleich hier offensichtlich auch vom Chirurgen nicht beeinflussbare Faktoren eine Rolle spielten [6].

Schlussfolgerungen

Die eigene Analyse von über 500 Kalkaneusfrakturen lässt folgende Punkte schlussfolgern:

1. Patienten mit **notfallmäßiger Indikation** zur operativen Versorgung (offene Fraktur oder Bruch mit innerer Weichteilkompression) profitieren zweifelsfrei von einem ein- oder zweizeitigen operativen Vorgehen, von einer individuellen Wahl des Zuganges, der frakturspezifischen Fixationstechnik und eventueller Zusatzmaßnahmen in Abhängigkeit von Frakturtyp und Weichteilschaden.

2. **Präzise Indikationen** zum operativen Vorgehen mit aufgeschobener Dringlichkeit bis zum 14. Tag nach Fraktur sowie klare **Kontraindikationen** zur Operation minimieren die Risiken für den Patienten. Bei Verwendung von winkelstabilen Implantaten ist die Altersgrenze bei möglicher Altersosteoporose relativ geworden.
3. Bei hohem **lokalem oder allgemeinem Risiko** für eine offene Operation soll primär konservativ-funktionell behandelt werden, um gegebenenfalls 1 Jahr später, wenn notwendig, bei wesentlich geringerem OP-Risiko eine reorientierende Subtalararthrodese durchzuführen.
4. Bei **Luxationsfrakturen** mit erheblicher Fehlstellung, besonders mit Translation, sollte bei schlechten Weichteilverhältnissen zumindest eine annähernde Reposition und Retention mit perkutan eingebrachten Schrauben/Spickdrähten/Fix. externe erzielt werden, da sekundäre Rekonstruktionen mit notwendiger Osteotomie sehr aufwendig und risikoreich sind. Bei guten Weichteilen und Zerstörung des Außenknöchels oder begleitender Peronealsehnenluxation ist ein modifizierter Palmer-Zugang zu empfehlen.
5. Frakturen mit akutem **Kompartmentsyndrom** werden beim Mono-trauma notfallmäßig unter Ausräumen des medial- und lateralseitigen Hämatoms mittels ausgedehnt lateralen Zugangs definitiv osteosynthetisch versorgt. Beim Polytrauma wird mittels dorso-medianer Dermatofasziotomie oder zumindest mit retrograd eingebrachtem Redon in die Hämatomzone entlastet und die Fraktur mit einem medialen triangulären Fixateur externe temporär retiniert.
6. **2- und 3°-ig offene oder geschlossene Frakturen** mit relevanten Haut-/Weichteildefekten oder Vollhautnekrosen müssen nach Débridement, Re-Débridement möglichst innerhalb von 5 Tagen mit einer freien Lappen-deckung unmittelbar nach stabiler Osteosynthese versorgt werden, um die gefürchtete Osteitis des Fersenbeines zu vermeiden.
7. **Früh-postoperative Weichteilinfektionen** erfordern i.d.R. neben dem radikalen Débridement einen Wechsel von der Plättchen- zur alleinigen Schraubenosteosynthese sowie Second-/third-look-Operationen, eine Kalkaneusosteitis die partielle oder totale Kalkanektomie.

8. Die neuerdings verfügbare winkelstabile Platte erübrigt die morbidity-belastete, autogene Spongiosa-plastik. Eine um 3 Wochen frühere Vollbelastung der Fraktur erscheint bei dieser Osteosynthese möglich.
9. Postoperativ sollte möglichst eine **CT-Kontrolle** (deshalb Bevorzugung von Titan-Implantaten) zur Beurteilung der Gelenkkongruenz erfolgen, insbesondere wenn eine intraoperative Arthroskopie unterblieb.
10. Beim **Polytrauma** sollte nach evtl. initialer Fixateurbehandlung nicht nur die offensichtlich betroffene Seite im CT untersucht werden, sondern grundsätzlich auch die kontralaterale, um isolierte, klinisch inapparente, Sustentaculum-Frakturen nicht zu übersehen (3 eigene Zufallsbefunde). Eine sekundäre offene und interne Frakturversorgung ist bei initialer medialer Frakturstabilisierung bis zu 21 Tagen nach Fraktur noch möglich.

Literatur

- 1 Andermahr J, Helling HJ, Rehm KE, Koebke Z. The vascularization of the os calcaneum and the clinical consequences. *Clin Orthop* 1999; 367: 212–218
- 2 Benirschke SK, Mayo KA, Sangeorzan BJ, Hansen ST. Results of operative treatment of calcaneal fractures. In: Tscherne H, Schatzker J (Eds). *Major Fractures of the Pilon, the Talus and the Calcaneus*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1992: 152–174
- 3 Bèzes H, Massart P, Delvaux D, Fourquet JP, Tazi F. The operative treatment of intraarticular calcaneal fractures. Indications, technique, and results in 257 cases. *Clin Orthop* 1993; 290: 55–59
- 4 Brenner P, Rammelt S, Gavlik JM, Zwipp H. Early soft tissue coverage after complex foot trauma. *World J Surg* 2001; 25: 603–609
- 5 Buckley RE, Meek RN. Comparison of open versus closed reduction of intra-articular calcaneal fractures: a matched cohort in workmen. In: Schatzker J, Tscherne H (Eds). *Major Fractures of the Pilon, the Talus and the Calcaneus*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1992: 195–205
- 6 Buckley RE, Tough S, McCormack R, Pate G, Leighton R, Petrie D, Galpin R. Operative compared with nonoperative treatment of displaced intra-articular calcaneus fractures. A prospective, randomized, controlled multicenter trial. *J Bone Joint Surg [Am]* 2002; 84: 1733–1744
- 7 Crosby LA, Fitzgibbons TC. Open reduction and internal fixation of type II intra-articular calcaneus fractures. *Foot Ankle Int* 1996; 17: 253–258
- 8 de Peretti F, Trojani C, Cambas PM, Loubiere R, Argenson C. Le corail comme soutien d'un renforcement articulaire traumatique. Etude prospective au membre inférieur de 23 cas. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1996; 82: 234–240
- 9 Essex-Lopresti P. The mechanism, reduction technique, and results in fractures of the os calcis. *Br J Surg* 1952; 39: 395–419
- 10 Forgon M. Closed reduction and percutaneous osteosynthesis: technique and results in 265 calcaneal fractures. In: Tscherne H, Schatzker J (Eds). *Major Fractures of the Pilon, the Talus and the Calcaneus*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer Verlag, 1992: 207–213
- 11 Freeman B, Duff S, Allen P, Nicholson H, Atkins R. The extended lateral approach to the hindfoot. Anatomical basis and surgical implications. *J Bone Joint Surg [Br]* 1998; 80: 139–142
- 12 Gavlik JM, Rammelt S, Zwipp H. Percutaneous, arthroscopically assisted osteosynthesis of calcaneus fractures. *Arch Orthop Trauma Surg* 2002; 122: 424–428
- 13 Godina M. Early microsurgical reconstruction of complex trauma of the extremities. *Plast Reconstr Surg* 1986; 78: 285–292
- 14 Gopal S, Majumder S, Batchelor AG, Knight SL, De Boer P, Smith RM. Fix and flap: the radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg [Br]* 2000; 82: 959–966
- 15 Kundel K, Funk E, Brutscher M, Bickel R. Calcaneal fractures: operative versus nonoperative treatment. *J Trauma* 1996; 41: 839–845
- 16 Letournel E. Open treatment of acute calcaneal fractures. *Clin Orthop* 1993; 290: 60–67
- 17 Leung KS, Yuen KM, Chan WS. Operative treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneum. Medium-term results. *J Bone Joint Surg [Br]* 1993; 75: 196–201
- 18 Longino D, Buckley RE. Bone graft in the operative treatment of displaced intraarticular calcaneal fractures: is it helpful? *J Orthop Trauma* 2001; 15: 280–286
- 19 Mulcahy DM, McCormack DM, Stephens MM. Intra-articular calcaneal fractures: effect of open reduction and internal fixation on the contact characteristics of the subtalar joint. *Foot Ankle Int* 1998; 19: 842–848
- 20 O'Farrell D, JM OB, McCabe JP, Stephens MM. Fractures of the os calcis: improved results with internal fixation. *Injury* 1993; 24: 263–265
- 21 Paley D, Fischgrund J. Open reduction and circular external fixation of intraarticular calcaneal fractures. *Clin Orthop* 1993; 290: 125–131
- 22 Parisien JS, Vangness T. Arthroscopy of the subtalar joint: an experimental approach. *Arthroscopy* 1985; 1: 53–57
- 23 Rammelt S, Gavlik JM, Barthel S, Brenner P, Zwipp H. Management offener Kalkaneusfrakturen. *Hefte Unfallchirurg* 2000; 282: 29–30
- 24 Rammelt S, Gavlik JM, Barthel S, Zwipp H. Value of subtalar arthroscopy in the management of intra-articular calcaneus fractures. *Foot Ankle Int* 2002; 23: 706–716
- 25 Rammelt S, Barthel S, Biewener A, Gavlik JM, Zwipp H. Kalkaneusfrakturen. Offene Reposition und interne Stabilisierung. *Zbl Chir* 2003; 128: 517–528
- 26 Sanders R. Intra-articular fractures of the calcaneus: present state of the art. *J Orthop Trauma* 1992; 6: 252–265
- 27 Sangeorzan BJ, Ananthakrishnan D, Tencer AF. Contact characteristics of the subtalar joint after a simulated calcaneus fracture. *J Orthop Trauma* 1995; 9: 251–258
- 28 Schildhauer TA, Bauer TW, Josten C, Muhr G. Open reduction and augmentation of internal fixation with an injectable skeletal cement for the treatment of complex calcaneal fractures. *J Orthop Trauma* 2000; 14: 309–317
- 29 Siebert CH, Hansen M, Wolter D. Follow-up evaluation of open intra-articular fractures of the calcaneus. *Arch Orthop Trauma Surg* 1998; 117: 442–447

- ³⁰ Stephenson JR. Treatment of displaced intra-articular fractures of the calcaneus using medial and lateral approaches, internal fixation, and early motion. *J Bone Joint Surg [Am]* 1987; 69: 115 – 130
- ³¹ Thordarson DB, Krieger LE. Operative vs. nonoperative treatment of intra-articular fractures of the calcaneus: a prospective randomized trial. *Foot Ankle Int* 1996; 17: 2 – 9
- ³² Thordarson DB, Hedman TP, Yetkinler DN, Eskander E, Lawrence TN, Poser RD. Superior compressive strength of a calcaneal fracture construct augmented with remodelable cancellous bone cement. *J Bone Joint Surg [Am]* 1999; 81: 239 – 246
- ³³ Tornetta 3rd P. The Essex-Lopresti reduction for calcaneal fractures revisited. *J Orthop Trauma* 1998; 12: 469 – 473
- ³⁴ Wendl K, Recum J, Wentzensen A. Iso-C-3D-gestützte Implantation von Pedikelschrauben an BWS und LWS. *Unfallchirurg* 2003; 106: 907 – 913
- ³⁵ Westhues H. Eine neue Behandlungsmethode der Kalkaneusfrakturen. Zugleich ein Vorschlag zur Behandlung der Talusfrakturen. *Zentralbl Chir* 1935; 35: 995 – 1002
- ³⁶ Zwipp H. *Chirurgie des Fußes*. Wien, New York: Springer Verlag, 1994
- ³⁷ Zwipp H, Rammelt S. Frakturen und Luxationen. In: Wirth CJ, Zichner, L. (Hrsg). *Orthopädie und Orthopädische Chirurgie*. Vol. 8. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag, 2002: 532 – 618
- ³⁸ Zwipp H, Rammelt S, Barthel S. Calcaneal Fractures: Open Reduction and Internal Fixation (ORIF). *Injury* 2004; 35 (Suppl 2): 46 – 54
- ³⁹ Zwipp H, Baumgart F, Cronier P, Jorda E, Klaue K, Sands AK, Yung SW. ICI – integral classification of injuries to the bones, cartilage and ligaments. Application to injuries about the foot and ankle. *Injury* 2004; 35 (Suppl 2): 3 – 9
- ⁴⁰ Zwipp H, Rammelt S, Barthel S. Kalkaneusfraktur. *Unfallchirurg* 2005; 108: 737 – 748
- ⁴¹ Zwipp H, Rammelt S, Barthel S. Kalkaneusfraktur: Operative Technik. *Unfallchirurg* 2005; 108: 749 – 760

Prof. Dr. med. Hans Zwipp

Direktor der Klinik

Klinik und Poliklinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
Universitätsklinikum
„Carl Gustav Carus“ der TU Dresden
Fetscherstraße 74
01307 Dresden